

## Nuclear fuel assembly and method of operating a reactor using the assembly.

**Patent number:** EP0155865

**Publication date:** 1985-09-25

**Inventor:** DEHON CLAUDE; KOLMAYER ANDRE

**Applicant:** FRAMATOME & CIE (FR)

**Classification:**

- international: G21C3/328; G21C7/04; G21C19/20; G21C3/326;  
G21C7/00; G21C19/20; (IPC1-7): G21C3/32; G21C7/04;  
G21C19/20

- european: G21C3/328; G21C7/04; G21C19/20B

**Application number:** EP19850400291 19850219

**Priority number(s):** FR19840002684 19840222

**Also published as:**

US4649020 (A1)

JP61000787 (A)

FR2559943 (A1)

ES8702036 (A)

EP0155865 (B1)

**Cited documents:**

DE2815200

DE2318603

FR2154753

GB1084463

DE2839667

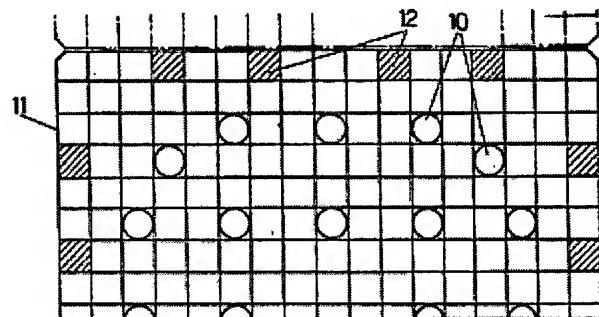
more >>

[Report a data error here](#)

Abstract not available for EP0155865

Abstract of corresponding document: **US4649020**

The nuclear fuel assembly comprises a bundle of fuel elements some of which contain a burnable neutronic poison, held in position at the nodes of a regular lattice by a skeleton having end pieces connected together by guide tubes occupying some of the nodes of the lattice. All the poison-containing elements are disposed so as to act on the reactivity of the adjacent assemblies in the heart of the reactor.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 155 865  
A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 85400291.2

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>: G 21 C 3/32  
G 21 C 19/20, G 21 C 7/04

(22) Date de dépôt: 19.02.85

(30) Priorité: 22.02.84 FR 8402684

(71) Demandeur: Société en nom collectif FRAMATOME et COGEMA dite "FRAGEMA"  
Tour Fiat 1, Place de la Coupole  
F-92084 Courbevoie(FR)

(43) Date de publication de la demande:  
25.09.85 Bulletin 85/39

(72) Inventeur: Dehon, Claude  
295, rue Grande  
F-69600 Oublins(FR)

(84) Etats contractants désignés:  
BE CH DE GB IT LI SE

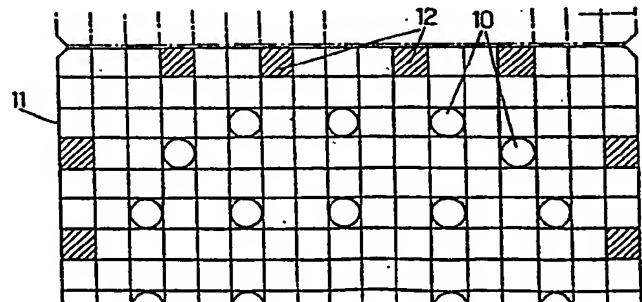
(72) Inventeur: Kolmayer, André  
37, rue de la Bourse  
F-69002 Lyon(FR)

(74) Mandataire: Fort, Jacques et al,  
CABINET PLASSERAUD 84, rue d'Amsterdam  
F-75009 Paris(FR)

(54) Assemblage de combustible nucléaire et procédé d'exploitation de réacteur nucléaire en comportant application.

(57) L'assemblage de combustible nucléaire comporte un faisceau de crayons de combustible dont certains contiennent un poison neutronique consommable, maintenus aux noeuds d'un réseau régulier par un squelette ayant des pièces d'extrémité reliées par des tubes guidés (10) occupant certains des noeuds du réseau. Tous les crayons (12) contenant du poison sont disposés de façon à agir sur la réactivité des assemblages adjacents dans le cœur du réacteur.

FIG.2 .



EP 0 155 865 A1

Assemblage de combustible nucléaire et procédé d'exploitation de réacteur nucléaire en comportant application

L'invention concerne les assemblages de combustible nucléaire comportant un faisceau de crayons de combustible dont certains contiennent un poison neutronique consommable, maintenus aux noeuds d'un réseau régulier par un squelette ayant des pièces d'extrémité reliées par des tubes guides occupant certains des noeuds du réseau.

De tels assemblages de combustible sont utilisés depuis longtemps pour constituer la première charge de matériau fissile placée dans un réacteur nucléaire (FR-A-1 503 127, 1 504 651). Le rôle du poison neutronique consommable, constitué par un matériau ayant une forte section efficace de capture des neutrons et ne produisant pas d'isotopes fortement absorbants, est de réduire la réactivité initiale du cœur lors du démarrage du processus de fission. La présence de poison permet d'utiliser des charges de matière fissile plus importantes, ce qui augmente la durée du premier cycle de fonctionnement du cœur, au bout duquel il est nécessaire de remplacer une partie des assemblages par des assemblages neufs et de changer la disposition des assemblages restants. Il a également pour but de permettre d'uniformiser la distribution de puissance dans l'ensemble du cœur par répartition appropriée, dans le cœur, des assemblages contenant du poison. Parmi les poisons utilisés, on peut citer le bore, le samarium, l'europtium, et surtout le gadolinium, fréquemment sous forme de composé tel qu'un oxyde. En règle générale, on a jusqu'ici disposé ceux des crayons qui contiennent du poison consommable de façon à homogénéiser la répartition de l'antiréactivité qu'ils représentent au sein de l'assemblage. Cela conduit à les écarter des bords de l'assemblage et, souvent, à les rendre adjacents aux tubes guides, fréquemment destinés à recevoir une grappe de crayons mobiles de matériau absorbant appartenant à une barre de commande.

Il ne semble pas que l'on ait apprécié, antérieurement à la présente invention, les inconvénients de cette approche, consistant à utiliser, uniquement pour la première charge du réacteur, des assemblages comportant un poison 5 réparti pour homogénéiser la répartition d'antiréactivité dans l'assemblage pris isolément.

Un premier inconvénient est que cette répartition se traduit par un déséquilibre dans la répartition radiale de la puissance neutronique dissipée dans le cœur. Un 10 second inconvénient est lié à l'abandon de l'emploi de poison dès le second cycle de fonctionnement. On sait qu'à l'issue du premier cycle, on prélève les assemblages constituant la partie centrale du cœur (un tiers des assemblages en général), on déplace les assemblages constituant les 15 parties médiane et périphérique du cœur, respectivement vers les parties centrale et médiane, et on équipe d'assemblages de combustible neufs la partie périphérique libérée. Le bilan global de réactivité du nouveau cœur est évidemment beaucoup moins élevé que celui d'un cœur entièrement neuf et 20 en conséquence ne rend pas nécessaire l'adjonction d'un poison consommable.

En contrepartie, cette moindre réactivité du nouveau cœur, du fait du remplacement d'un tiers de cœur seulement, pénalise l'exploitation du réacteur, du fait que les cycles 25 sont raccourcis, et éloigne le cycle de fonctionnement de l'optimum du point de vue de la combustion de la matière fissile et du volume de combustible à retraiter.

On a déjà songé à allonger les durées de cycle au-delà du premier en augmentant l'enrichissement des crayons 30 de combustible ou en augmentant le nombre d'assemblages neufs à chaque rechargement. Mais il faut alors compenser l'excédent initial de réactivité par un accroissement corrélatif de la teneur en bore du réfrigérant, ce qui a le double inconvénient de réduire la sécurité (par diminution en valeur absolue du coefficient de température négatif du modérateur lors du fonctionnement) 35 et d'augmenter le volume des effluents à traiter.

L'invention vise notamment à réduire le déséquilibre

de réactivité globale du cœur lors du remplacement d'une fraction du combustible, notamment en améliorant la distribution de puissance en particulier là où voisinent des assemblages neufs et des assemblages ayant subi un cycle.

5 Dans ce but, l'invention propose notamment un assemblage du genre ci-dessus défini, dans lequel tous les crayons contenant du poison neutronique sont disposés de façon à agir sur la réactivité des assemblages adjacents dans le cœur du réacteur.

10 L'adoption d'un tel assemblage permet une combustion plus poussée de la matière fissile des assemblages si l'on choisit de conserver une durée de cycle élémentaire du même ordre que par le passé : il suffit dans ce cas de placer dans la partie centrale du cœur, d'une part, des assemblages 15 ayant déjà subi un cycle, d'autre part, des assemblages neufs suivant l'invention. Les crayons de poison consommable de ces derniers agissent non seulement sur l'assemblage qui les contient, mais aussi sur les assemblages adjacents, évitant ainsi tout déséquilibre excessif de puissance.

20 Toutefois, dans un mode avantageux de mise en oeuvre de l'invention, les assemblages du type défini ci-dessus permettent d'allonger la durée d'un cycle élémentaire, donc de diminuer la fréquence des interventions sur le cœur, les arrêts de la centrale et les doses reçues par le personnel.

25 Le matériau combustible qui sera utilisé dans des assemblages destinés à mettre en oeuvre des cycles "longs" présentera généralement un enrichissement en isotopes fissiles plus important que les assemblages utilisés jusqu'ici et également un taux de poison supérieur.

30 On peut notamment utiliser, comme poison neutronique consommable, le gadolinium sous forme d'oxyde  $Gd_2O_3$ . L'oxyde de gadolinium a en effet l'intérêt de constituer, avec la poudre de dioxyde d'uranium, une céramique réalisable par mélange à froid et frittage et de ne pas accroître 35 la difficulté de retraitement du combustible qui le contient.

En contrepartie, le gadolinium a présenté, dans les

assemblages utilisés jusqu'ici, un inconvénient dû au fait qu'il a un très grand pouvoir d'absorption et une cinétique de variation d'antiréactivité très rapide, d'où une évolution rapide et importante de la distribution de puissance  
5 dans le cœur, provoquant des pics locaux de puissance, qui limitent la puissance globale extractible. Cet inconvénient est écarté, dans le cas de l'invention, du fait que l'effet de l'antiréactivité des crayons de poison s'étend non seulement à l'assemblage qui contient les crayons de combustible  
10 contenant un poison consommable, mais aussi aux assemblages adjacents.

Bien que la solution consistant à incorporer le poison neutronique aux pastilles de combustible nucléaire constitue une solution particulièrement intéressante, elle n'est pas  
15 exclusive et, en particulier, on peut incorporer le poison neutronique aux crayons de combustible sous forme d'un revêtement ou de manchons rapportés (FR-A-2 520 916).

Une solution commode consiste à disposer les crayons contenant du poison aux noeuds du réseau qui sont les plus  
20 éloignés de ceux occupés par les tubes guides constituant des veines d'eau, donc des trajets fortement refroidis et ne comprenant pas de crayon générant de l'énergie soit par fission, soit par absorption du rayonnement gamma provenant du poison. Dans les assemblages combustibles habituellement  
25 utilisés ayant un grand nombre de noeuds (un cas typique étant celui d'un réseau carré à 17 x 17 noeuds), les crayons contenant du poison sont placés de façon que l'axe de chacun de ces crayons soit séparé de chaque tube guide constituant veine d'eau par plus de deux pas du réseau. Souvent la solution la plus avantageuse consistera à placer les crayons contenant du poison à la périphérie du réseau, alors que les  
30 tubes guides sont répartis en des noeuds écartés d'au moins deux pas des noeuds qui sont situés à la périphérie.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la  
35 description qui suit de modes particuliers d'exécution de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs, et de la comparaison qui en est faite avec l'art antérieur.

La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

les Figures 1c, 1b et 1c sont des vues schématiques, en coupe suivant un plan transversal au sens de circulation du réfrigérant, montrant la répartition des tubes guides et des crayons contenant du poison dans des demi-assemblages suivant l'art antérieur ;

- la Figure 2, similaire aux Figures 1a, 1b et 1c, montre la répartition des tubes guides et des crayons contenant du poison dans un assemblage suivant l'invention ;

- la Figure 3 donne les courbes représentatives de la valeur du pic de puissance radiale, exprimée sous forme du rapport entre la puissance fournie par le crayon le plus chaud et la puissance moyenne par crayon dans l'assemblage, en fonction de l'épuisement du combustible, exprimée en MWj par assemblage, pour l'assemblage de la Figure 2 (courbe 2) et les assemblages des Figures 1a-1c (courbes 1a, 1b, 1c), l'assemblage occupant une position représentative dans le coeur ;

- la Figure 4 montre la variation de la réactivité d'un assemblage non muni de poison consommable (courbe A) et celle d'un assemblage contenant du poison consommable (courbe B) en fonction de l'épuisement du combustible, encore exprimée en MWj par assemblage.

Les assemblages, dont une coupe transversale est donnée en Figure 1a, 1b, 1c et 2, peuvent avoir une constitution générale classique, c'est-à-dire comporter deux pièces d'extrémité (non représentées) reliées par des tubes guides 10 constituant des veines d'eau lorsqu'ils sont vides. Ces tubes guides sont prévus pour qu'on puisse y déplacer en bloc une grappe de crayons absorbant les neutrons et appartenant à une barre de commande du réacteur. Ces guides sont disposés aux noeuds d'un réseau régulier, à mailles carrées dans le cas illustré, et placés dans le réseau de façon à assurer une répartition homogène de l'absorption neutronique. Le réseau peut notamment être matérialisé par des grilles 11, dont l'une apparaît sur les Figures 1a à 2, constituées de plaquettes

assemblées. Ces grilles 11, qui constituent avec les tubes guides et les pièces d'extrémité un squelette de structure, délimitent des alvéoles 14 de réception de crayons de combustible. On a représenté, en hachures, sur les Figures 5 1a, 1b, 1c et 2, ceux de ces alvéoles qui reçoivent des crayons de combustible 12 contenant également du poison neutronique.

Les Figures 1a, 1b et 1c montrent trois répartitions de crayons contenant du poison neutronique qui sont classiquement utilisés dans des assemblages à 17 x 17 alvéoles et vingt-quatre tubes guides 10. On voit que les crayons contenant du poison 2 sont placés dans des alvéoles adjacents aux tubes guides 10, ce qui provoque un déséquilibre radial de la puissance neutronique.

15 Au contraire, dans l'assemblage suivant un mode particulier de réalisation de l'invention, qui est représenté en Figure 2, les crayons 12 contenant du poison sont placés dans des alvéoles périphériques du réseau de façon à être le plus éloignés possible :

20 - du point chaud de l'assemblage, généralement constitué par la zone occupée par des crayons fissiles dans la partie centrale, où la puissance fournie est la plus élevée,

25 - des veines hydrauliques constituées par les tubes guides 10 lorsque ces derniers ne contiennent ni crayons absorbant appartenant à une barre de commande, ni bouchons.

On voit que l'axe de chacun des crayons 12 contenant du poison est éloigné d'au moins deux pas de l'axe du tube guide 10 le plus proche. On réduit ainsi très considérablement le nombre de crayons contenant uniquement du matériau fissile qui subissent à la fois le voisinage immédiat d'un tube guide 10 et celui d'un crayon contenant du poison 12. On voit au surplus que, lorsque les assemblages adjacents (une fraction d'un de ces assemblages étant montrée en tirets sur la Figure 2) ne sont pas équipés de poison, l'emplacement des crayons contenant du poison 12 correspond à une configuration optimisée de la répartition de l'anti-réactivité entre assemblages adjacents.

- 7 -

Lorsque l'assemblage est destiné à être utilisé dans un cœur prévu pour que des assemblages adjacents contiennent tous des crayons contenant du poison, l'effet cumulé d'antiréactivité de deux crayons 12 qui vont se re-

5 trouver adjacents est choisi pour que l'augmentation de puissance, dans les crayons immédiatement voisins (due à l'absorption par ces crayons des rayons gamma provenant des crayons 12), ne dépasse pas les limites prévues pour ces crayons.

10 L'effet favorable de la mise en oeuvre de l'invention apparaît sur la Figure 3. Lorsque les crayons 12 contenant du poison neutronique sont placés à la périphérie de l'assemblage, comme cela est illustré sur la Figure 2, le pic de puissance radiale (rapport entre la puissance émise par 15 le crayon le plus chargé et la puissance moyenne par crayon dans l'assemblage) garde une valeur sensiblement constante pendant toute la durée de vie de l'assemblage. Au contraire, dans le cas des assemblages des Figures 1a, 1b et 1c, ce pic se modifie considérablement et, s'il est faible au début 20 de la vie de l'assemblage, il devient notablement supérieur à celui que l'on trouve dans le cas de l'assemblage de la Figure 2 lorsque le poison est consommé.

On voit donc que l'élimination progressive du poison neutronique et la diminution locale d'absorption qui en 25 découlent ne pénalisent pas le cœur du réacteur par accroissement excessif du pic de puissance radiale en fin de vie et, au surplus, ne lui imposent pas de transitoire important le long du cycle.

30 L'exemple montré en Figure 3 correspond à des assemblages dont les crayons de combustible contiennent des pastilles de dioxyde d'uranium enrichi à 3,25% en U235, tandis que les crayons 12 contiennent des pastilles d'enrichissement plus faible, à 8% en poids de  $Gd_2O_3$ . Ces teneurs ne sont pas impératives et en particulier, on pourra généralement faire varier la teneur en  $Gd_2O_3$  jusqu'à 15% environ.

- 8 -

L'effet de la présence de crayons contenant du poison sur la réactivité globale d'un assemblage apparaît sur la Figure 4. On voit qu'un assemblage comportant seize crayons contenant du gadolinium, avec la disposition montrée en 5 Figure 2, présente, au cours de la phase initiale du cycle, une réactivité qui évolue peu (courbe B). Sa réactivité se rapproche ensuite de celle d'un assemblage dépourvu de crayons contenant du poison (courbe A).

Le fait que les premiers assemblages contenant du poison 10 auront une influence sur les assemblages adjacents peut être utilisé de plusieurs façons.

Il est possible de conserver une durée de cycle normale, c'est-à-dire de l'ordre de l'année, du fait qu'elle permettra d'augmenter le taux de combustion des assemblages 15 de combustible placés dans la région centrale du cœur en intercalant, parmi ces assemblages, des assemblages neufs, mais contenant du poison suivant une disposition conforme à l'invention. En effet, cette alternance d'assemblages ne provoquera pas de déséquilibre important, car l'effet des 20 crayons contenant du poison d'un assemblage s'étendra aux assemblages adjacents.

L'invention peut également être utilisée, de façon particulière, avec un cycle de combustion allongé, en adoptant un taux d'enrichissement plus important des assemblages, la réactivité supplémentaire ainsi produite pour les assemblages neufs étant compensée par la présence du poison.

REVENDICATIONS

1. Assemblage de combustible nucléaire comportant un faisceau de crayons de combustible dont certains contiennent un poison neutronique consommable, maintenus aux noeuds d'un réseau régulier par un squelette ayant des pièces d'extrémité reliées par des tubes guides (10) occupant certains des noeuds du réseau, caractérisé en ce que tous les crayons (12) contenant du poison sont disposés de façon à agir sur la réactivité des assemblages adjacents dans le cœur du réacteur.
- 10 2. Assemblage selon la revendication 1, caractérisé en ce que les crayons contenant du poison sont disposés aux noeuds du réseau les plus éloignés des tubes guides (10) constituant des veines d'eau.
- 15 3. Assemblage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'axe de chaque crayon contenant du poison (12) est séparé de l'axe du tube guide le plus proche constituant veine d'eau par plus d'un pas du réseau.
- 20 4. Assemblage selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que les crayons contenant du poison sont tous répartis dans des alvéoles à la périphérie du réseau, alors que les tubes guides (10) sont répartis en des noeuds écartés d'au moins deux pas des noeuds situés à la périphérie.
- 25 5. Assemblage selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le poison neutronique est le gadolinium.
- 30 6. Assemblage selon la revendication 5, caractérisé en ce que les crayons contenant du poison neutronique consommable comportent des pastilles de dioxyde d'uranium à teneur en  $Gd_2O_3$  allant jusqu'à 15%, avantageusement d'environ 8%.
- 35 7. Procédé d'exploitation de réacteur nucléaire comportant un cœur formé par juxtaposition d'assemblages, suivant lequel on charge initialement le cœur tout entier du réacteur en assemblages neufs comportant un poison neutronique, et, à l'issue du premier cycle, on enlève une fraction des assemblages du centre du réacteur, et on déplace vers le centre les

- 10 -

assemblages situés à la périphérie, caractérisé en ce qu'on met en place à la partie périphérique du cœur et, éventuellement, parmi les assemblages amenés à la partie centrale du cœur, des assemblages de combustible neufs suivant l'une 5 quelconque des revendications précédentes.

FIG.1a.

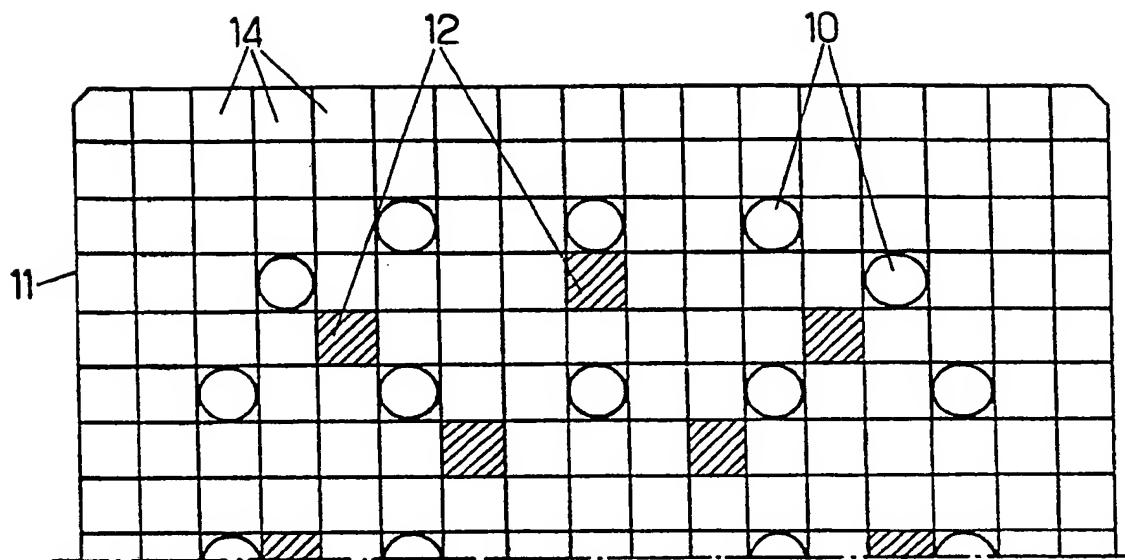


FIG. 1b.

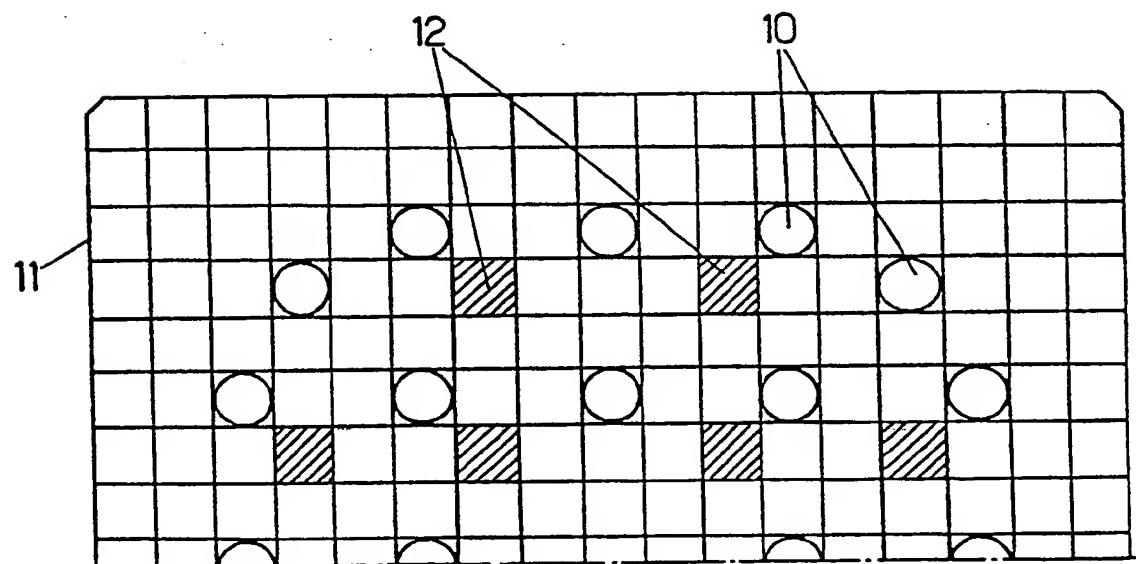


FIG.1c.

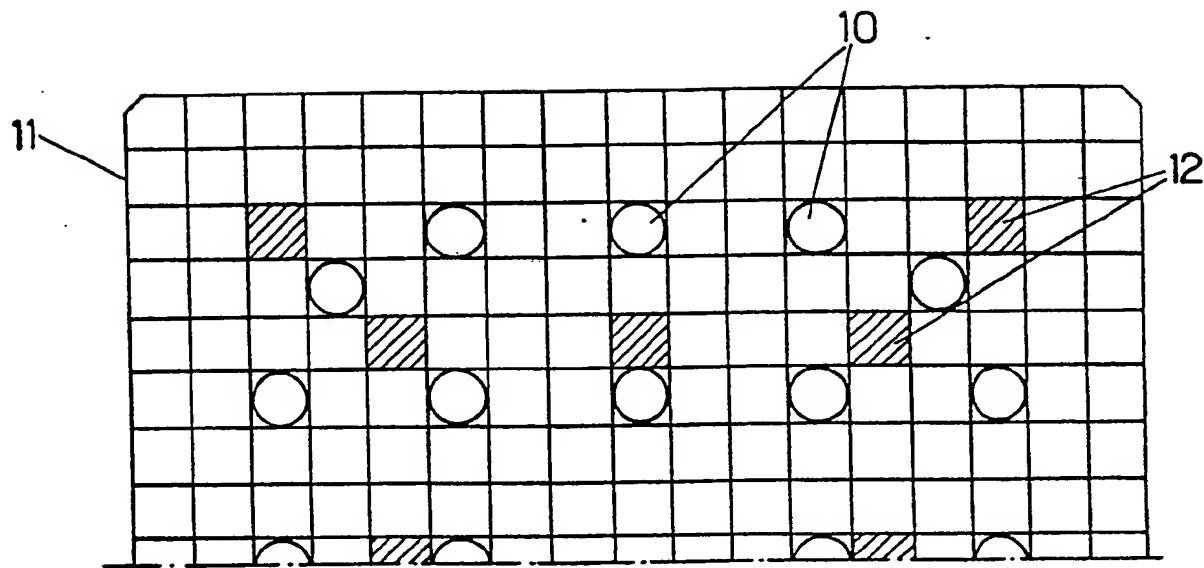
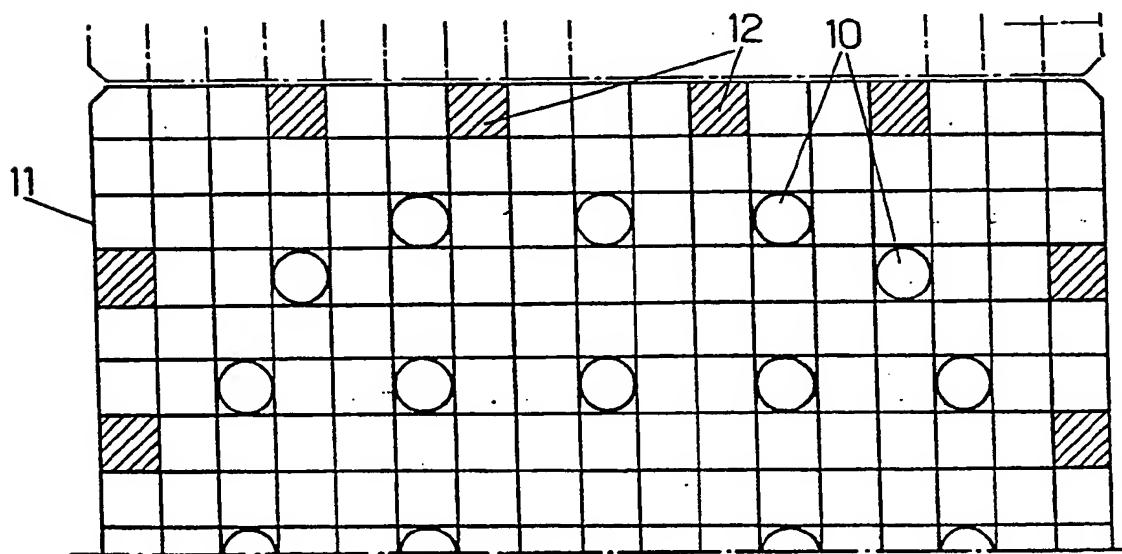


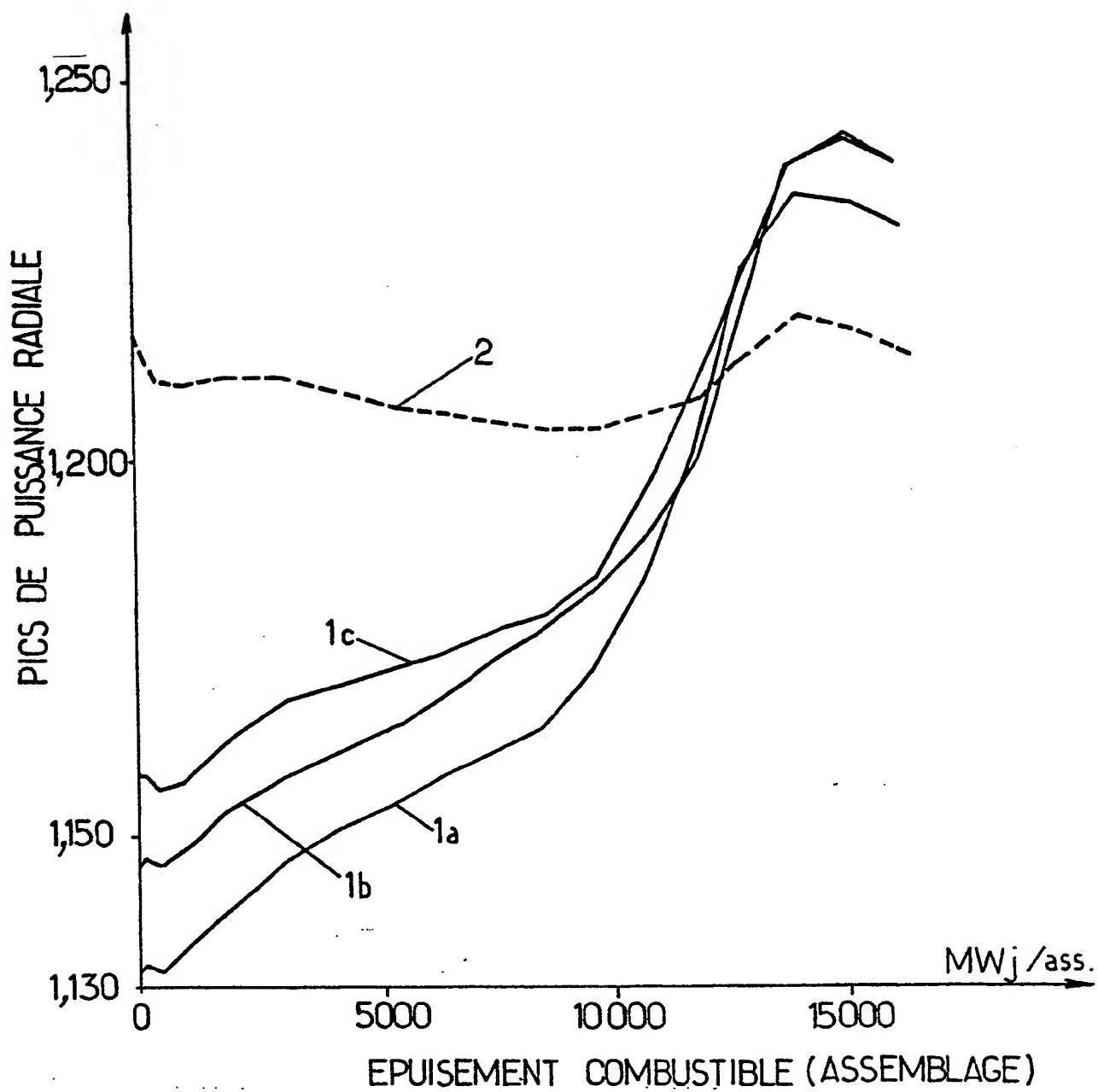
FIG.2.

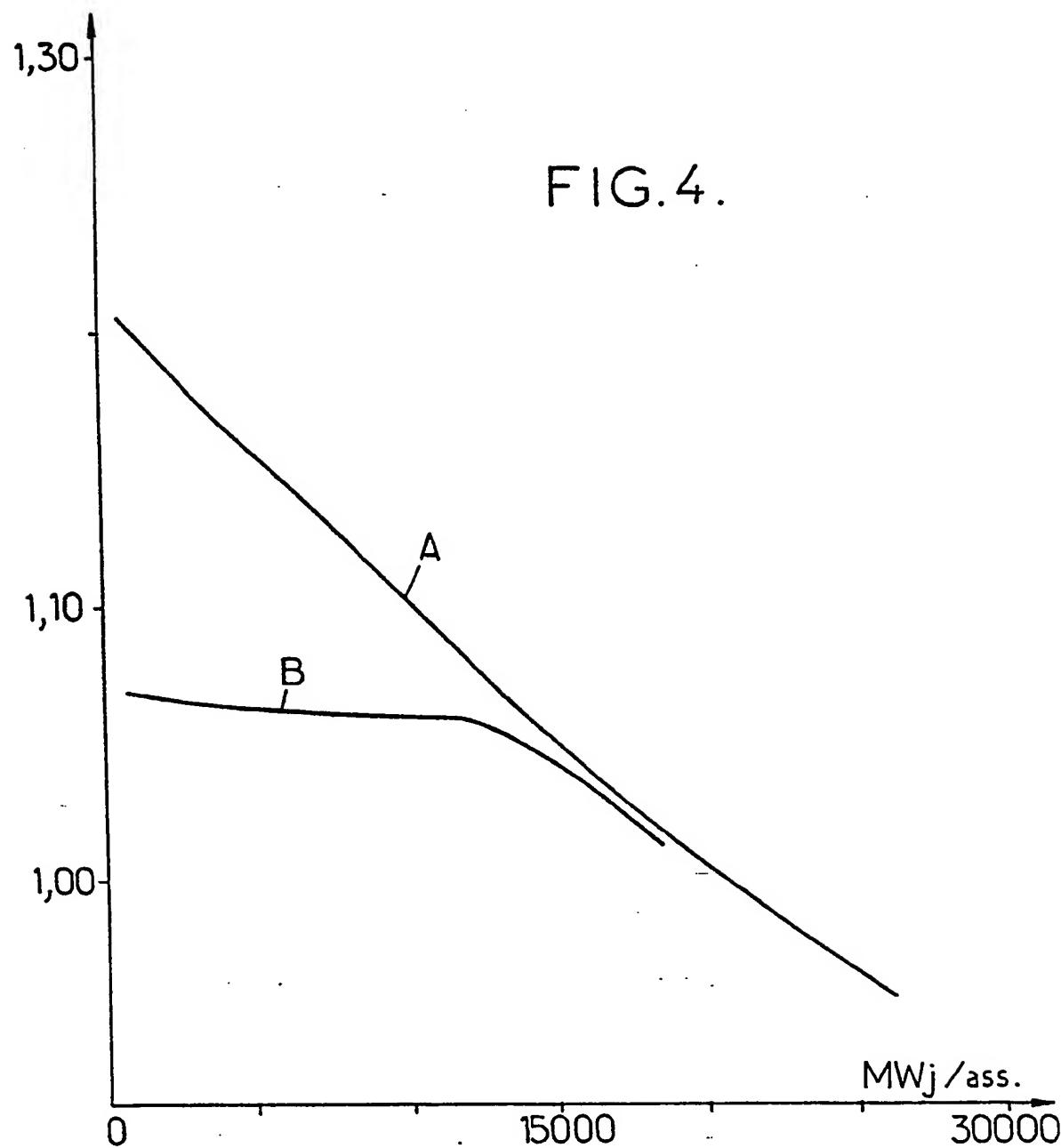


3/4

0155865

FIG.3.







Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0155865

Numéro de la demande

EP 85 40 0291

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	DE-A-2 815 200 (COMBUSTION ENGINEERING INC.) * Page 9, lignes 5-34; page 10, lignes 1-30; figure *	1,4,7	G 21 C 3/32 G 21 C 19/20 G 21 C 7/04
A	---	1-4	
A	DE-A-2 318 603 (AB ASEA-ATOM) * Page 3, lignes 18-24; pages 4,5; figures 1-3 *		
A	---	1,5	
A	FR-A-2 154 753 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) * Page 9, lignes 15-35; figures 6,7 *		
A	---	1 4	
A	GB-A-1 084 463 (UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY) * Page 2, lignes 59-76; figure 3 *		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
A	---	1,3,7	G 21 C 3/00 G 21 C 7/00 G 21 C 19/00
A	DE-A-2 839 667 (HITACHI LTD.) * Page 5, lignes 29-32; page 6; page 7, lignes 1-7; figures 1,2a,2b *		
A	---	7	
A	US-A-3 335 061 (W.E. WINSCHE et al.) * Abrégé; revendication *		
D,A	---	1	
D,A	FR-A-2 520 916 (FRAGEMA) * Revendication 1; figures *		
	---	-/-	
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>LA HAYE</b>	Date d'achèvement de la recherche <b>28-05-1985</b>	Examinateur <b>KAVCIC D.</b>	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

**0155865**

Numéro de la demande

EP 85 40 0291

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			Page 2
Categorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
D, A	FR-A-1 503 127 (WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY) ---		
D, A	FR-A-1 504 651 (WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>LA HAYE</b>	Date d'achèvement de la recherche <b>28-05-1985</b>	Examinateur <b>KAVCIC D.</b>	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul	T : théorie ou principe à la base de l'invention		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie	E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date		
A : arrière-plan technologique	D : cité dans la demande		
O : divulgation non-écrite	L : cité pour d'autres raisons		
P : document intercalaire	& : membre de la même famille, document correspondant		